



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑳ Aktenzeichen: 198 60 084.4  
㉔ Anmeldetag: 23. 12. 1998  
㉕ Offenlegungstag: 6. 7. 2000

㉑ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

㉒ Erfinder:  
Weinrich, Volker, Dr., 81373 München, DE;  
Engelhardt, Manfred, Dr., 83620  
Feldkirchen-Westerham, DE; Kreupl, Franz, Dr.,  
80469 München, DE; Schiele, Manuela, 85625  
Glonn, DE; Sänger, Annette, Dr., 81667 München,  
DE; Hartner, Walter, 81829 München, DE

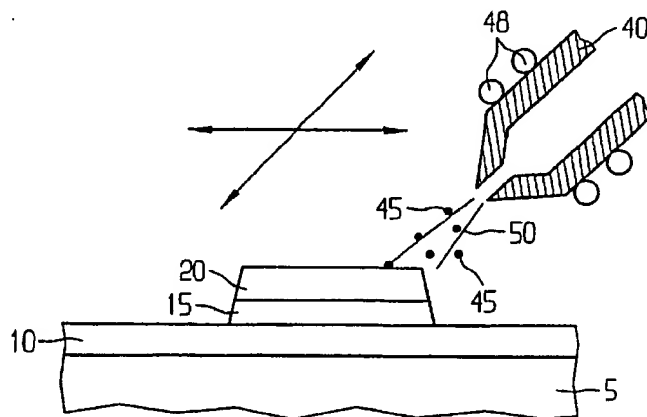
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 43 32 897 A1  
DE 41 03 577 A1  
US 48 06 171  
JP 05-21 405 A  
Heywang, W., Müller, R. (Hrsg.): Halbleiter-  
Elektronik, Bd. 19: Technologie hochintegrierter  
Schaltungen, Berlin (u.a.): Springer, 1996,  
S. 266-267;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Strukturieren eines Substrats

⑤⑦ Es wird ein Verfahren zum Strukturieren eines Substrats (20) vorgeschlagen, bei dem nach dem Ätzen des Substrats (20) Ätzzurückstände (30) von der Oberfläche des Substrats (20) durch einen Gasstrom (50) entfernt werden. Die Reinigung erfolgt im wesentlichen durch eine Impulsübertragung vom Gasstrom (50) auf die Ätzzurückstände (30), die dadurch vom Substrat (20) entfernt werden. Besonders gute Reinigungsergebnisse werden mit einem Gasstrom (50) erreicht, der erstarrte Gaspartikel (45) aufweist. Das Verfahren eignet sich insbesondere zum Strukturieren von Metallschichten (20).



## Beschreibung

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der Halbleitertechnologie und betrifft ein Verfahren zum Strukturieren eines Substrats.

Zur Herstellung von mikroelektronischen Bauelementen, beispielsweise Halbleiterspeicher, muß eine Vielzahl von unterschiedlichen Materialien, die z. B. in Form von Schichten auf einem Grundsubstrat aufgebracht sind, strukturiert werden. Dazu werden die zu strukturierenden Schichten mit einer geeigneten Ätzmaske bedeckt und anschließend einem Ätzmedium ausgesetzt. Dieses führt durch physikalischen und/oder chemischen Abtrag zu einem Entfernen der zu strukturierenden Schicht von den nicht durch die Ätzmaske bedeckten Bereichen des Grundsubstrats. Beim Ätzen kann es jedoch durch den Angriff des Ätzmediums auch zu einem teilweisen Entfernen der Ätzmaske kommen, in dessen Folge die Schicht nicht mehr maßhaltig geätzt wird. Dies äußert sich beispielsweise in geneigten Ätzflanken der zu strukturierenden Schicht. Derartig geneigte Ätzflanken verhindern jedoch die gewünschte maßhaltige Strukturierung.

Besondere Schwierigkeiten bereitet das Ätzen von Metall- und Metalloxidschichten. So erhält man beispielsweise beim Ätzen von Platin mit einem Ätzverfahren mit hoher physikalischer Komponente relativ steile Ätzflanken, jedoch bilden sich dabei gleichzeitig Materialablagerungen an der Ätzmaske aus, die nur äußerst schwer entfernbar sind. Daher wird neben der physikalischen Komponente dem Ätzverfahren zusätzlich eine reaktive chemische Komponente zugeordnet, um diese Materialablagerungen während des Ätzens zu unterdrücken bzw. abzutragen. Derartige Ätzverfahren werden beispielsweise in den Fachartikeln Yoo et al. "Control of Etch Slope during Etching of Pt in  $\text{Ar}/\text{Cl}_2/\text{O}_2$  Plasmas", Japanese Journal of Applied Physics Vol. 35, 1996, Seiten 2501 bis 2504 und Park et al. "Platinum Etching in an Inductively Coupled Plasma" 26<sup>th</sup> ISSDRE 1996, Seiten 631 bis 634 beschrieben. In beiden Fachartikeln wird Platin in einem Argonplasma anisotrop geätzt, wobei dem Argonplasma Chlorionen als chemische Komponente zur Reduzierung der Materialablagerungen beigesetzt sind. Ungünstigerweise entstehen jedoch bei Verwendung dieser Verfahren unerwünscht stark geneigte Platinätzflanken.

Das Ätzen von Platin in einem reinen Argonplasma wird in beiden Fachartikeln trotz der dabei entstehenden relativ steilen Ätzflanken vermieden, da die sich beim Ätzen ausbildenden Materialablagerungen schwer entfernbar sind. Da die Materialablagerungen aus dem gleichen Material wie die zu strukturierende Schicht bestehen, führt z. B. ein naßchemisches Entfernen der Materialablagerungen auch zu einem unerwünschten Angreifen der Schicht.

Es ist auch möglich, Platin bei stark erhöhten Temperaturen zu ätzen, da das Platin bei hohen Temperaturen mit den Ätzgasen flüchtige Verbindungen bildet. Voraussetzung hierfür ist jedoch die Verwendung von sogenannten Hartmasken aus relativ temperaturstabilen Maskenmaterialien. Der nachfolgend erforderliche Abtrag der Hartmasken führt jedoch gleichzeitig zu einem Abtrag freigelegten Grundsubstrats und damit zu einer unerwünschten Erhöhung der Topologie der zu prozessierenden Struktur.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Strukturieren eines Substrats anzugeben, bei dem möglichst steile Ätzflanken entstehen sowie eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens zu benennen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Strukturieren eines Substrats mit folgenden Schritten:

auf das Substrat wird eine Ätzmaske aufgebracht; das Substrat wird mittels eines Ätzverfahrens unter Verwendung der Ätzmaske geätzt;

ein aus zumindest einer Düse strömender Gasstrom wird zum Entfernen der Ätzrückstände und gegebenenfalls der Ätzmaske auf das Substrat gerichtet, wobei der Gasstrom die Ätzrückstände und gegebenenfalls die Ätzmaske weitestgehend vom Substrat entfernt.

Mit Hilfe der Erfindung ist es möglich, Ätzrückstände sowie die ggf. auf dem Substrat verbliebene Ätzmaske durch einen gerichteten Gasstrom weitestgehend rückstandsfrei zu entfernen. Dabei wird der Umstand ausgenutzt, daß durch den auf die Ätzrückstände gerichteten Gasstrom diese durch die Wucht des Gasstroms vom Substrat entfernt werden. Insbesondere bei einer ausreichend hohen Strömungsgeschwindigkeit des Gasstroms lassen sich auch festhaftende Ätzrückstände entfernen. Der Gasstrom wird bevorzugt durch eine Düse geformt, durch die das komprimierte Gas hindurch tritt und dabei einen relativ scharf gebündelten und mit hoher Strömungsgeschwindigkeit versehenen Gasstrom bildet.

Günstig ist es weiterhin, daß der Gasstrom kälter als das Substrat ist. Dies führt dazu, daß durch den gekühlten Gasstrom mechanische Spannungen im Substrat erzeugt werden, die zu einem Abplatzen der Ätzrückstände und der Ätzmaske bzw. der Ätzmaskenreste führen. Dadurch wird die Reinigungswirkung des Gasstroms infolge einer Impulsübertragung von den Gasmolekülen auf die Ätzrückstände unterstützt.

Die Reinigungswirkung des Gasstroms wird weiterhin auch vorteilhaft dadurch erhöht, daß der Gasstrom bevorzugt zumindest kondensierte und/oder erstarrte Gaspartikel enthält. Die durch kondensiertes und/oder erstarrtes Gas gebildeten Gaspartikel, z. B. Eiskristalle, schlagen beim Auftreten auf Ätzrückstände diese vom Substrat fort. Die Gaspartikel sollten zur Vermeidung von Schäden am strukturierten Substrat klein genug sein, um ein Abtragen des Substrats durch die Gaspartikel weitestgehend auszuschließen. Die Größe der Gaspartikel hängt unter anderem vom Durchmesser der Düsenöffnung ab und kann dadurch relativ einfach angepaßt werden.

Bisher wurden derartige Gaspartikel zum Entfernen von auf einer Oberfläche liegenden Schmutzpartikeln verwendet. Dazu wurde  $\text{CO}_2$ -Gas durch eine Düse gepreßt, wobei sich das Gas dabei abkühlt und zumindest teilweise erstarrt. Die dabei gebildeten Gaspartikel (Trockeneis, Schnee) treffen auf die Oberfläche und entfernen die Schmutzpartikel. Geeignete Düsenformen und Düsengrößen zum Expandieren eines Gases unter Bildung von erstarrten Gaspartikeln geeigneter Größe sind beispielsweise in der US-Patentschrift 4,806,171 beschrieben.

Durch Versuche konnte jedoch überraschenderweise festgestellt werden, daß derartige Gasströme auch zum Entfernen von fest anhaftenden Ätzrückständen geeignet sind. Diese bestehen häufig aus einem amorphen oder polykristallinen Gemisch aus Substratrückständen- und Ätzmaskenbestandteilen, die mechanisch fest mit dem zu strukturierenden Substrat verbunden sind. Die Substratrückstände, d. h. Materialablagerungen, schlagen sich zumindest teilweise während des Ätzprozesses an den Seitenflanken der Ätzmaske und auf der Oberseite der Ätzmaske nieder und bilden dort zusammen mit teilweise aufgelockerten und oberflächennahen Ätzmaskenschichten eine mehrkomponentige festhaltende Schicht. Daher kann auch von aufgewachsenen Materialablagerungen gesprochen werden. Diese sind chemisch ohne Angriff des Substrats nur schwer zu entfernen, da ein chemischer Abtrag der Materialablagerungen gleichzeitig

das Substrat angreifen würde.

Durch den gekühlten Gasstrom und die kondensierten und/oder erstarrten Gaspartikel werden die Ätzrückstände weitestgehend physikalisch entfernt. Ein chemische Angriff auf das Substrat ist daher ausgeschlossen. Bevorzugt werden gegenüber dem Substrat weitestgehend inerte Gase, beispielsweise Kohlendioxid, Argon und Stickstoff, verwendet. Diese können ggf. vor Ausströmen aus der Düse geeignet gekühlt werden oder sich erst infolge ihrer Gasexpansion an der Düse abkühlen. Die Gaspartikel können daher entweder bereits im gekühlten Gas enthalten sein oder erst bei der adiabatischen Entspannung an der Düse gebildet werden.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es möglich, das Substrat nahezu ausschließlich mit einem Ätzverfahren mit physikalischer Komponente zu ätzen und dadurch sehr steile Profilflanken (70°-90°) des geätzten Substrats zu erhalten. Die bei diesem Ätzen, z. B. Argonspultern, entstehenden unerwünschten Materialablagerungen auf der Ätzmaske werden jedoch gemäß der Erfindung anschließend weitestgehend rückstandslos und einfach durch den Gasstrom entfernt. Optional kann vor dem Entfernen der Ätzrückstände und Materialablagerungen die Ätzmaske zumindest teilweise entfernt werden. Dadurch verlieren die Ätzrückstände zum Teil ihre mechanische Unterstützung durch die Ätzmaske und können leichter durch den Gasstrom entfernt werden. Die Ätzmaske kann beispielsweise durch ein Veraschen des Ätzmaskenmaterials in einem Hochtemperaturschritt oder durch naßchemischen Abtrag entfernt werden. Günstig ist weiterhin eine abschließende Reinigung des geätzten Substrats, um noch anhaftende Rückstände zu entfernen. Die abschließende Reinigung erfolgt bevorzugt unter Einwirkung von Ultraschall oder Megasonik.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können Metallschichten, Metalloxidschichten oder Schichtenstapel, die zumindest aus einer Metallschicht und einer Metalloxidschicht bestehen, mit steilen Profilflanken strukturiert werden. Bevorzugt wird dieses Verfahren daher bei der Strukturierung von Metallschichten aus Platin, Ruthenium, Iridium, Osmium, Rhenium, Palladium, Eisen Kobalt und Nickel, von Schichten aus Iridiumoxid, Rutheniumoxid sowie von amorphen bzw. polykristallinen Metalloxidschichten, die zur Herstellung von Halbleiterspeichern verwendet werden, benutzt. Das zu strukturierende Substrat wird daher im allgemeinen eine Schicht auf einem Grundsubstrat und unter Umständen das Grundsubstrat selbst sein.

Der zweite Teil der Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung, wobei

die Vorrichtung mit einer Ätzkammer verunreinigungs dicht verbindbar ist;

ein Substrat von der Ätzkammer zur Vorrichtung einführbar ist; und

die Vorrichtung zumindest eine auf das Substrat richtbare Düse zum Formen zumindest eines gerichteten Gasstroms enthält, der zum Entfernen von Ätzrückständen und gegebenenfalls einer Ätzmaske von dem Substrat dient.

Gemäß der Erfindung kann in der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach dem Ätzen des Substrats dieses durch den Gasstrom gereinigt werden, ohne daß das Substrat beim Transport zur Vorrichtung schädlichen Umwelteinflüssen ausgesetzt ist. Zu diesem Zweck ist die erfindungsgemäße Vorrichtung verunreinigungs dicht mit der Ätzkammer verbunden. Dies ist beispielsweise durch geeignete abdichtbare Ansatzstutzen möglich, durch die gleichzeitig auch das Substrat von der Ätzkammer zur Vorrichtung überführt werden kann. Durch das verunreinigungs freie Verbinden der Vor-

richtung mit der Ätzkammer wird auch ein Verunreinigen der Ätzkammer selbst bei der Entnahme des Substrats vermieden. Günstig ist, die zumindest eine Düse und das Substrat relativ zueinander bewegbar anzuordnen, so daß das gesamte Substrat von dem aus der Düse austretenden Gasstrom überstrichen werden kann. Zum optionalen Vorkühlen des Gasstroms weist die Düse bzw. eine Gaszufuhreinrichtung eine Kühlvorrichtung auf. Durch die Kühlvorrichtung kann das Gas zumindest soweit abgekühlt werden, daß bei einer bevorzugt adiabatischen Entspannung des Gases dessen weitere Abkühlung unter Bildung von kondensierten und/oder erstarrten Gaspunkten möglich ist.

Weiterhin sollte die Vorrichtung evakuierbar sein, damit beim Einschieben des Substrats in die Vorrichtung aus dieser keine eventuell vorhandenen Schmutzpartikel in vorgeschaltete Kammer und insbesondere in die Ätzkammer gelangen können. Während der Reinigung sollte darüber hinaus die Vorrichtung ständig abgepumpt werden, um so die gelösten Ätzrückstände weitestgehend aus der Vorrichtung zu entfernen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben und schematisch in einer Zeichnung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1a bis 1e einzelne Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 und 3 auf einem Schichtenstapel verbliebene Ätzrückstände, und

Fig. 4 und 5 eine erfindungsgemäße Vorrichtung.

In Fig. 1 ist ein Grundmaterial 5 dargestellt, auf dessen Oberseite eine Schichtstruktur aus einer Schicht 10, einer Barrierenschicht 15 und einer Platinschicht 20 angeordnet sind. Die Platinschicht 15 und die Barrierenschicht 20 stellen hier das zu strukturierende Substrat dar. Die Schicht 10 besteht bevorzugt aus Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid. Die Barrierenschicht 15 besteht ihrerseits aus einer etwa 100 nm dicken Titanitridschicht und einer darunter befindlichen etwa 20 nm dicken Titanschicht. Die Platinschicht 20 ist etwa 250 nm dick. Auf die Platinschicht 20 wird nachfolgend eine Ätzmaske 25 aufgebracht. Die Ätzmaske 25 kann aus einem fotolithografisch strukturierbaren Material, beispielsweise Photolack, bestehen und dadurch leicht strukturiert werden. Sofern ein lichtunempfindliches Maskenmaterial verwendet wird, erfolgt das Strukturieren der Ätzmaske 25 unter Verwendung einer weiteren fotolithografisch strukturierbaren Schicht.

Anschließend werden die Platinschicht 20 und die Barrierenschicht 15 geätzt. Dies erfolgt bevorzugt in einem MERRI-Reaktor (Magnetically Enhanced Reactive Ion Etching), wobei die Prozesskammer zuvor auf einen Druck von etwa 10 mTorr evakuiert wurde. Danach wird die Platinschicht 20 in reinem Argonplasma etwa 3 Minuten lang bei etwa 50°C geätzt, wobei das verwendete Magnetfeld etwa 0,008 T (80 Gauss) aufweist und die zur Aufrechterhaltung des Plasmas nötige Leistung etwa 750 Watt beträgt. Der Argonätzprozeß ist ein nahezu rein physikalischer Ätzvorgang, da das Platin nur durch die beschleunigten Argonionen abgetragen wird. Da die Barrierenschicht 15 im Gegensatz zur Platinschicht 20 unterschiedlich stark durch Argon geätzt wird, dient die Barrierenschicht 15 hier gleichzeitig als Ätzstoppschicht, so daß ein eventuell auftretendes räumlich inhomogenes Ätzen der Platinschicht 20 nicht zu einer ungleichmäßigen Ätztopologie führt.

Nach dem Ätzen der Platinschicht 20 wird die Barrierenschicht 15 in einem reinen Chlorplasma für etwa 20 bis 60 Sekunden geätzt. Da ein Ätzangriff des Chlors auf der Seitenwand 27 der strukturierten Platinschicht 20 nur unwesentlich erfolgt, und die Oberseite der Platinschicht 20 weiterhin durch die Ätzmaske 25 geschützt ist, wird die Platin-

schicht 20 während der Barrierenätzung nicht weiter abgetragen.

Insbesondere beim Ätzen der Platinschicht 20 bilden sich Materialablagerungen 30 (Redepositions) an den Seitenwänden der Ätzmaske 25 aus. Diese bestehen überwiegend aus unverteilt Platin. Zum Entfernen dieser Materialrückstände und der Ätzmaske 25 werden anschließend mehrere Reinigungsschritte durchgeführt. Zunächst wird die Ätzmaske 25 durch Einwirkung eines Sauerstoffplasmas verbrannt, wodurch auf der Platinschicht 20 nur noch die Materialablagerungen 30 in Form von steilen Wänden verbleiben. Es ist möglich, daß bei diesem Veraschen die Ätzmaske 25 bis auf einige Rückstände 35 von der Platinschicht entfernt wird. Diese Rückstände 35 können durch eine naßchemische Reinigung in einer karoschen Säure ( $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ) oder durch ein Hydroxylamin, Katechol und Ethylendiamin enthaltendes Reinigungsmedium entfernt werden. Alternativ kann auch die gesamte Ätzmaske 25 naßchemisch entfernt werden.

Eventuell verbliebene Ätzmaskenrückstände und die Materialablagerungen 30 werden nachfolgend durch einen Gasstrahl aus Kohlendioxid weitestgehend rückstandsfrei von der Platinschicht 20 entfernt. Dazu wird das Kohlendioxid mit etwa 60 bar durch eine Düse 40 gepreßt, so daß es sich nach dem Durchtritt durch die Düse 40 adiabatisch entspannen kann. Dabei kühlt sich das Kohlendioxid zumindest bis zu seiner Erstarrungstemperatur ab und es bilden sich  $\text{CO}_2$ -Eispartikel 45. Diese stellen die kondensierten bzw. erstarrten Gaspartikel dar. Bevorzugt wird flüssiges  $\text{CO}_2$ , das unter hohem Druck aufbewahrt wird, verwendet, wobei die Düse 40 in einem Abstand von etwa 1 bis 3 cm unter einem Abstrahlwinkel von etwa  $45^\circ$  zur Substratoberfläche gehalten wird. Zur Verhinderung der Kondensation von Wasser und einer möglichen Eisbildung liegt das Substrat auf einem geheizten Substraträger oder wird durch eine Lanipenheizung erwärmt. Um ein gleichmäßiges Entfernen der Materialablagerungen 30 zu ermöglichen, wird die Düse rasterartig über das Substrat geführt, wobei dieses dabei gleichzeitig um eine senkrecht zu Substratoberfläche stehende Achse gedreht werden kann, damit der Gasstrom 50 die Substratoberfläche aus allen Richtungen überstreicht. Nach etwa 1 bis 5 Minuten sind die Materialablagerungen 30 von der Platinschicht 20 und dem Grundmaterial 5 entfernt.

Zur optionalen Vorkühlung des Gases kann die Düse 40 eine Kühlvorrichtung 48 in Form von Kühlleitungen aufweisen. Ein geeignetes Kühlmittel ist beispielsweise kaltes Stickstoffgas.

Die genaue Ausgestaltung der Düsenformen sowie weitere bevorzugte Prozessparameter zur Bildung des  $\text{CO}_2$ -Gasstroms können der US-Patentschrift 4,806,171 aus den Spalten 3 bis 8 entnommen werden, die hiermit als Referenz eingeführt wird.

Ein großer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß das auf die Oberfläche auftreffende  $\text{CO}_2$ -Gas sowie die eventuell auftretende  $\text{CO}_2$ -Verreisung rückstandsfrei durch Heizen des Grundmaterials 5 beseitigt werden kann. Es hat sich gezeigt, daß auch  $\text{CO}_2$ -Gas mit einem Reinheitsgrad von mindestens 99% ohne zusätzliche Verschmutzung der Platinschicht 20 verwendet werden kann. Daher ist dieses Verfahren auch besonders kostengünstig.

Durch die Bildung von flüssigem oder superkritischem Kohlendioxid bei der Expansion des Gases oder Aufprall von Gaspartikeln auf die Substratoberfläche ist gleichzeitig auch ein organisches Lösungsmittel vorhanden, so daß dadurch auch organische Reste, z. B. eine aus einer organischen Substanz bestehende Ätzmaske, entfernt werden können.

Die Materialablagerungen 30 befinden sich überwiegend

nur an den Seitenflanken der Ätzmaske 25, da durch die Einwirkung der Argonionen während des Ätzens die Materialablagerungen auf der Oberseite der Ätzmaske ständig entfernt werden. Somit bildet sich dort nur eine äußerst dünne Schicht von Materialablagerungen aus.

Abschließend kann optional eine naßchemische Reinigung und/oder eine Reinigung mit weichen Bürsten (Scruber) zum Entfernen von eventuell verbliebenen Partikeln bzw. Resten durchgeführt werden. Dies erfolgt bevorzugt mit einer verdünnten Flußsäure ( $\text{HF}$ ) oder verdünntem Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) unter Einwirkung von Ultraschall bzw. Megasonnen.

Die Reinigungswirkung des  $\text{CO}_2$ -Gases und der  $\text{CO}_2$ -Gaspartikel beruht auf mehreren sich ergänzenden Komponenten. Die Hauptwirkung wird durch die Impulseinwirkung des Gasstromes und der darin enthaltenen Gaspartikel 45 erzielt. Durch den am Substrat bzw. an der Substratoberfläche vorbeistreichenden Gasstrom wird eine Reibungskraft erzeugt, die zu einem Forttragen der Ätzrückstände führt. Bei sehr festhaftenden und mit dem Substrat verbundenen Ätzrückständen reicht diese Reibungskraft der Gaspartikel jedoch oftmals nicht mehr aus, weswegen unterstützend die massenmäßig deutlich größeren Gaspartikel hinzutreten. Diese schlagen dabei regelrecht die Materialablagerungen von der Substratoberfläche ab, die dadurch vom Gasstrom fortgetragen werden können. Der mechanische Abtrag wird durch das Abkühlen des Grundmaterials 5 und aller darauf befindlichen Schichten unterstützt, da die Materialien, insbesondere die Lackreste, bei tiefen Temperaturen spröde werden und leichter abplatzen.

Ähnliche Reinigungsergebnisse werden mit Argon oder Stickstoff erzielt. Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch zum gemeinsamen Strukturieren eines Schichtenstapels 55 verwendet werden, der aus einer Barrierenschicht 15, einer Platinschicht 20 sowie einer Metalloxidschicht 60 besteht. Derartige Schichtenstapel 55 werden beispielsweise zur Herstellung von Halbleiterspeichern verwendet. Die Metalloxidschicht 60 besteht bevorzugt aus einem Material der allgemeinen Form  $\text{ABO}_x$ , wobei A für zumindest ein Metall aus der Gruppe Barium, Strontium, Niob, Blei, Zirkon, Lanthan, Wismut, Kalzium und Kalium, B für Titan, Tantal oder Ruthenium und O für Sauerstoff steht. X liegt zwischen 2 und 12. Ein Vertreter dieser Stoffklasse ist beispielsweise Strontium-Wismut-Tantalat ( $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ ). Die beim Ätzen dieses Schichtenstapels 55 entstehenden Materialablagerungen 30 können nach dem Veraschen der Ätzmaske auch zueinander leicht geneigt sein. Dies ist in Fig. 2 dargestellt. Die unter dem Schichtenstapel 55 befindliche Schicht 10 wirkt beim Ätzen des Schichtenstapels 55 gleichzeitig als Ätzstoppschicht. In Fig. 3 sind die Materialablagerungen 30 infolge des gemeinsamen Ätzens einer weiteren Platinschicht 62 und der Metalloxidschicht 60 dargestellt.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren lassen sich Schichten mit sehr steilen Ätzflanken 27 ( $80^\circ$ – $90^\circ$ ) herstellen. Dies ist insbesondere bei schwer ätzbaren Schichten von Vorteil.

Das Strukturieren des Substrats erfolgt bevorzugt in einer Reinigungskammer 65, die in der Fig. 5 dargestellt ist. Diese weist eine Schleuse 70 zum Einführen des Substrats 75 in die Reinigungskammer 65 auf. Weiterhin ist die Reinigungskammer 65 mit einer hier nicht näher dargestellten Vakuumpumpe über einen Absaugstutzen 80 verbunden. Das Substrat 75 liegt auf einem beheizbaren Substraträger 85, der über eine Heizung 90 beheizt wird. In der Prozeßkammer 65 sind weiterhin bewegbare Düsen 40 angeordnet, die rasterförmig das Substrat 75 überstreichen können.

Die Gase zum Entfernen der Ätzrückstände 30 werden den Düsen 40 über eine Druckleitung 100 zugeführt. Diese,

wie auch die Düsen 40, sind von einer Kühleinrichtung 48 zum Vorkühlen des Gases umgeben.

Gemäß Fig. 4 ist die Reinigungskammer 65, die hier die erfindungsgemäße Vorrichtung darstellt, abgedichtet mit einer Ätzkammer 110 verbunden. Als Zwischenglied zwischen Ätzkammer 110 und Reinigungskammer 65 dient eine Transportstation oder Transferkammer 115, durch die das zu strukturierende Substrat von der Ätzkammer 110 zur Reinigungskammer 65 transportiert werden kann. Zusätzlich ist an der Transportstation 115 noch eine Kammer 120 zum Veraschen der Ätzmaske angeflanscht. Bevorzugt ist die Reinigungskammer 65 als sogenanntes Cluster-Tool ausgebildet. Bei einer alternativen seriellen Anordnung sind die Ätzkammer 110, die Transportstation 115, die Kammer 120 zum Veraschen der Ätzmaske und die Reinigungskammer 65 hintereinander angeordnet.

Günstig ist weiterhin der Aufbau eines Druckgradienten zwischen Reinigungskammer 65 und vorgeschalteten Kammern (Transportstation 115, Kammer 120, Ätzkammer 110), so daß zumindest beim Überführen des Substrats in die Reinigungskammer darin enthaltene Verunreinigungen nicht in die vorgeschalteten Kammern gelangen können. Der Druck in der Reinigungskammer sollte daher geringer als der Druck in den übrigen Kammern sein. Während der Reinigung werden die gelösten Ätzrückstände ständig abgesaugt, wobei infolge des einströmenden  $\text{CO}_2$ -Gases der Druck in der Reinigungskammer 65 leicht erhöht sein kann.

#### Bezugszeichenliste

|   |    |
|---|----|
| 5 Grundmaterial                           | 30 |
| 10 Schicht/Siliziumoxid/Siliziumnitrid    |    |
| 15 Barrierenschicht/Ätzstoppschicht       |    |
| 20 Platinschicht                          |    |
| 25 Ätzmaske                               | 35 |
| 27 Ätzflanke/Seitenwand                   |    |
| 30 Materialablagerungen/Ätzrückstände     |    |
| 35 Rückstände                             |    |
| 40 Düse                                   |    |
| 45 $\text{CO}_2$ -Bispartikel/Gaspartikel | 40 |
| 48 Kühlvorrichtung                        |    |
| 50 Gasstrom                               |    |
| 55 Schichtenstapel                        |    |
| 60 Metalloxidschicht                      |    |
| 62 weitere Platinschicht                  | 45 |
| 65 Reinigungskammer                       |    |
| 70 Schleuse                               |    |
| 75 Substrat                               |    |
| 80 Absaugstutzen                          |    |
| 85 Substratträger                         | 50 |
| 90 Heizung                                |    |
| 100 Druckleitung                          |    |
| 101 Ätzkammer                             |    |
| 102 Transportstation                      |    |
| 120 Kammer                                | 55 |

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Strukturieren eines Substrats mit folgenden Schritten:
  - a) ein Substrat (5, 15, 20, 60) wird bereitgestellt;
  - b) auf das Substrat (5, 15, 20, 60) wird eine Ätzmaske (25) aufgebracht;
  - c) das Substrat (5, 15, 20, 60) wird mittels eines Ätzverfahrens unter Verwendung der Ätzmaske (25) geätzt;
  - d) ein aus zumindest einer Düse (40) strömender Gasstrom (50) wird zum Entfernen der Ätzrück-

stände (30) und gegebenenfalls der Ätzmaske (25) auf das Substrat (5, 15, 20, 60) gerichtet, wobei der Gasstrom (50) die Ätzrückstände (30) und gegebenenfalls die Ätzmaske (25) weitestgehend vom Substrat (5, 15, 20, 60) entfernt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom (50) kälter als das Substrat (5, 15, 20, 60) ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom (50) zumindest kondensierte und/oder erstarrte Gaspartikel (45) enthält.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom (50) infolge einer Gasexpansion an der Düse (40) abgekühlt wird.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasstrom (50) vor Austreten aus der Düse (40) abgekühlt wird.
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein gegenüber dem Substrat (5, 15, 20, 60) weitestgehend inertes Gas, bevorzugt Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Argon (Ar), Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) oder ein Gemisch dieser Gase, verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch das Ätzen zumindest auf dem Substrat (5, 15, 20, 60) festhaftende und mechanisch relativ stabile Materialablagerungen entstehen, die weitestgehend unverteilt und abgetragenes Substrat (5, 15, 20, 60) enthalten und die Ätzrückstände (30) darstellen.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ätzverfahren eine hohe physikalische Ätzkomponente aufweist.
9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß unterstützend zum Entfernen der Ätzrückstände (30) durch den Gasstrom (50) die Ätzmaske (25) zuvor zumindest teilweise entfernt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzmaske (25) zumindest teilweise durch ein Veraschen des Ätzmaskenmaterials oder durch einen naßchemischen Abtrag entfernt wird.
11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Entfernen der Ätzrückstände (25) eine abschließende Reinigung durchgeführt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die abschließende Reinigung unter Einwirkung von Ultraschall oder Megasonik erfolgt.
13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Substrat eine Ätzstoppschicht (15) angeordnet ist.
14. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (5, 15, 20, 60) durch eine Schicht gebildet wird, die zumindest eine Metallschicht (20) oder eine Metalloxidschicht (60) aufweist.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht ein Schichtenstapel (55) ist, der zumindest eine Metallschicht (20) und eine Metalloxidschicht (60) aufweist.
16. Vorrichtung zum Entfernen von Ätzrückständen auf einem Substrat, wobei
  - a) die Vorrichtung mit einer Ätzkammer verunreinigungsdicht verbindbar ist;
  - b) ein Substrat (75) von der Ätzkammer zur Vorrichtung einführbar ist und
  - c) die Vorrichtung zumindest eine auf das Substrat

(75) richtbare Düse (40) zum Formen zumindest eines gerichteten Gasstroms (50) enthält, der zum Entfernen von Ätzrückständen (30) und gegebenenfalls einer Ätzmaske (25) von dem Substrat (75) dient.

5

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (40) und das Substrat (75) relativ zueinander bewegbar sind.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß der gerichtete Gasstrom (50) unter Bildung von kondensierten und/oder erstarrten Gaspartikeln (45) an der Düse (40) expandierbar ist.

10

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kühlvorrichtung (48) zum Kühlen des durch die Düse (40) leitbaren Gases vorgesehen ist.

15

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG 1A

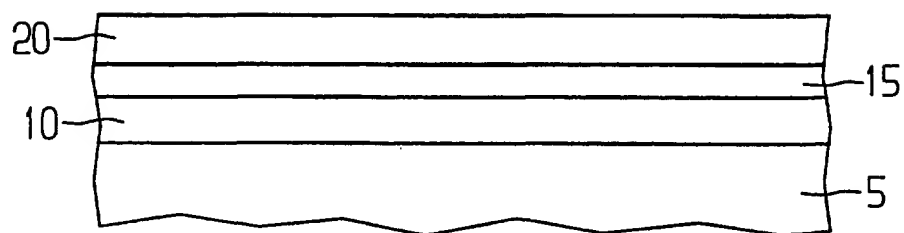


FIG 1B

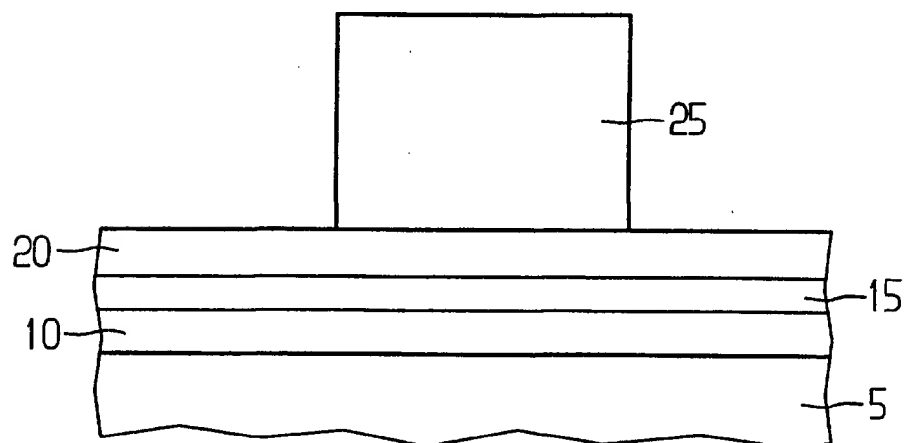
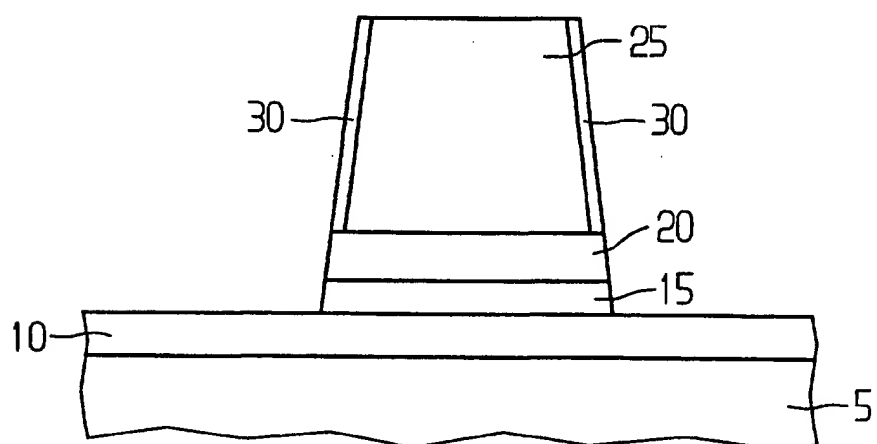


FIG 1C



This diagram shows a cross-sectional view of a multi-layered structure. At the base is a thick, light-colored layer labeled 5. Above this is a thin, dark horizontal layer labeled 10. On top of layer 10 is a tapered, conical structure. The tapered structure consists of a central core labeled 15, which is surrounded by a layer labeled 20. The outermost layer of the tapered structure is labeled 30. The top surface of the tapered structure is labeled 35. The bottom surface of the tapered structure is labeled 15.



FIG 2

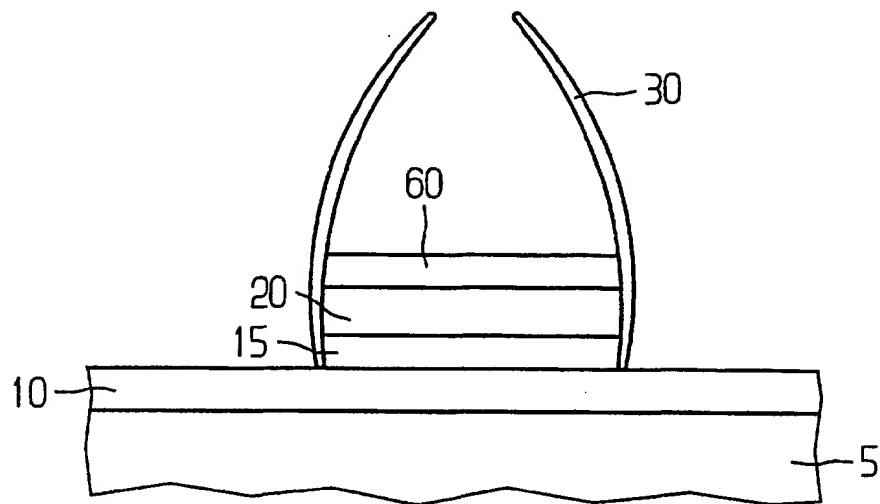


FIG 3

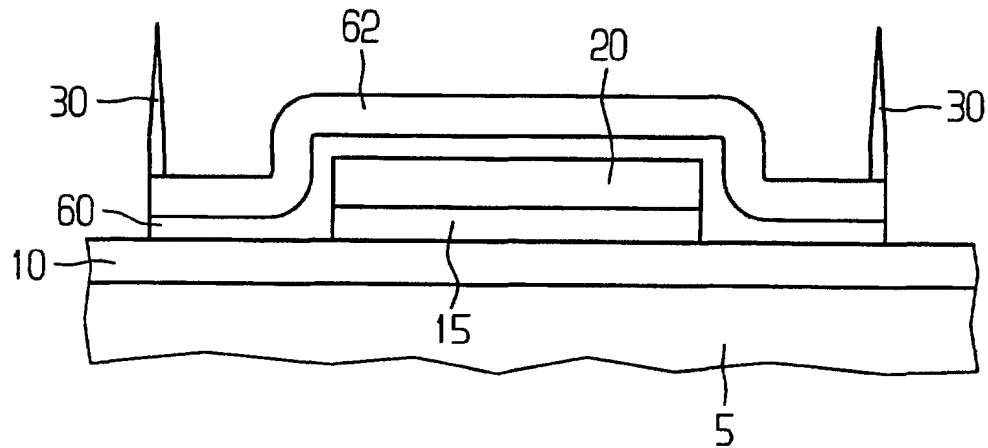


FIG 4

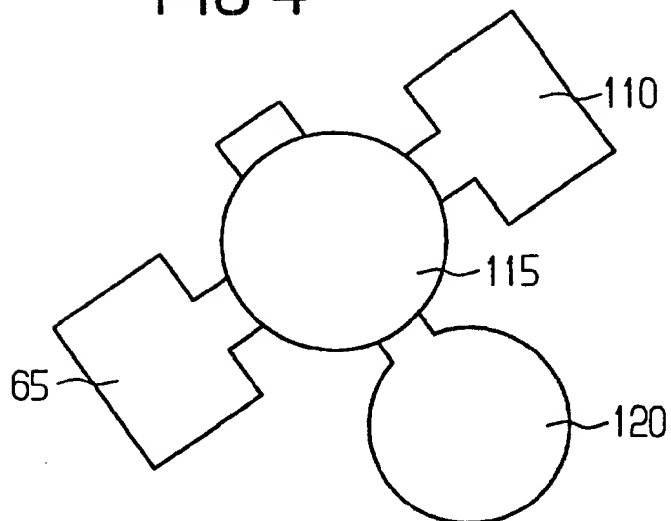


FIG 5

